

Korszerű duplex korrózióálló acélok hegeszthetőségi kérdései

Sándor Tamás

ESAB Kft., H-1065 Budapest, Teréz krt. 55-57. C lépcsőház, II. emelet;
tamas.sandor@esab.hu

Absztrakt: Az elmúlt néhány évben rohamos fejlődésen esett át a duplex szövet-szerkezetű korrózióálló acélok családja. A fejlesztések eredményeként több új duplex acél jelent meg a piacon. Ezek tulajdonságainak bemutatását követően a cikk a szóban forgó acélok közül a 2205 (1.4462) és a LDX2101 (1.4162) típusok hegeszthetőségi tulajdonságait elemzi TIG és ATIG hegesztési eljárások esetén, két különböző védőgázzal (100% Ar, illetve Ar + 5% N₂) és a duplex acélok hegesztéséhez általában javasolt hőbevitel alsó határértékével, 0,4-0,5 kJ/mm értékkel. A végső értékelés az egyes eljárásváltozatokkal hegesztett varratok ausztenit/ferrit arányát hasonlítja össze.

Kulcsszavak: Duplex acél, LDX2101, ausztenit/ferrit arány

1. Áttekintés

A korrózióálló acélok családjának legtöbb fenntartással hegeszthető típusai az ausztenit / ferrites vagy közismertebb nevén a duplex korrózióálló acélok. Bár a duplexek már az 1920-as évek óta ismertek, jelentősebb elterjedésük mégis a '80-as években indult el. Ezt tulajdonságaik folyamatos fejlesztése tette lehetővé, amely fejlesztések a magyar szakirodalomból is ismerhetők, így a következőkben csak az azóta eltelt időszak jelentősebb lépéseit vázoljuk fel.

Kétségtelen tény, hogy a duplex acélok fejlődésének mérföldköve a szövet-szerkezet (és vele együtt természetesen a vegyi összetétel) termodinamikai tervezésének megkezdése volt 1994-95-ben. Ez egyrészt a korrózióállóságot javította az ausztenit és a ferrit szövetelemek termodinamikai stabilitásának javulásán keresztül, másrészt a mechanikai tulajdonságokat is előnyösen befolyásolta a fázis-elemek arányának beállíthatósága által.

A XXI. század első évtizedére ezek következtében az eddig ismert típusok vegyi összetételeinek idealizálása, finomítása mellett további fejlesztések voltak jellemzőek. A fejlesztések közül az ún. „hyper duplex” és a „lean duplex” kategóriát kell megemlíteni.

A hiperduplex acélok (Hyper Duplex Stainless Steel = HDSS) fejlesztésének egyetlen hajtóereje a korrózióállóság növelése. Gyakorlatilag a PREN > 48 értékkel jellemezhető duplex acélokat nevezzük hiperduplexnek (1. táblázat). Extrém tulajdonságaikat talán az jellemzi legjobban, hogy ezen acélok króm- és nikkelenyértékének kiszámolásakor olyan eredményeket kapunk, amelyek már nem jeleníthetők meg grafikusán az ismert – ferrit tartalmat prognosztizáló – diagramokon (Schaeffler, Espy, DeLong, WRC 1992).

Egyik legjellemzőbb alkalmazási területük a mélytengeri csővezeték-építés, ahol a korrózív közeg rendkívül nagy nyomással (akár 2000 bar (!)) párosul.

1. táblázat Hiperduplex acélok besorolása és vegyi összetétele

Ismert megnevezés	UNS	EN	C	Cr	Ni	Mo	N	Mn	Cu	PREN
SAF 2707HD	S32707	-	≤0,03	26,0 - 29,0	5,5 - 9,5	4,0 - 5,0	0,3 - 0,5	<1,5	<1,0	48<
SAF 3207HD	S33207	-	≤0,03	29,0 - 33,0	6,0 - 9,0	3,0 - 5,0	0,4 - 0,6	<1,5	<1,0	52<

A hiperduplexekkel történő találkozás – speciális alkalmazási területüknel fogva – kevésbé várható hazánkban. Sokkal nagyobb valószínűséggel találkozunk majd a közeljövőben lean duplex acélokkal.

A lean duplexek fejlesztésének egyértelmű hajtóereje az volt, hogy az ausztenites korrózióálló acélok alaptípusait jellemző ötvözők (Ni, Mo) árának világszerte tapasztalt kiszámíthatatlan ingadozásai és gyakran jelentős ugrásai, a hatékony kereskedelmi és ezáltal műszaki tevékenységet erőteljesen akadályozták. Nagy projektek szigorú pénzügyi szabályozásánál ugyanis gyakran ellehetetlenítette az ausztenites acélok hónapról hónapra változó ára a hatékony tervezést. Így aztán a korrózióálló acélok árának stabilizálása iránti igény folyamatosan erősödött a piac részéről, amely végül a ferrites korrózióálló acélok mellett a duplexek fejlesztésének erőteljes megindulásához vezetett. Ennek a folyamatnak az eredménye a lean duplex család (2. táblázat), amely kifejezetten az AISI 304 (1.4301) kategóriába sorolható típusok kiváltása céljával lett kialakítva. Vegyi összetételükre – a fentiek alapján – a kis Ni- és Mo-, valamint a nagy Mn- és N-tartalom a jellemző.

2. táblázat Lean duplex acélok besorolása és vegyi összetétele

Ismert megnevezés	UNS	EN	C	Cr	Ni	Mo	N	Mn	Cu	PREN
LDX2101	S32001	1.4482	≤0,03	19,5 - 21,5	1,0 - 3,0	<0,6	0,05 - 0,17	4,0 - 6,0	<1,0	21,93
	S32101	1.4162	≤0,04	21,0 - 22,0	1,35 - 1,7	0,1 - 0,8	0,2 - 0,25	4,0 - 6,0	0,1 - 0,8	25,85
	S32202	1.4062	≤0,03	21,5 - 24,0	1,0 - 2,8	<0,45	0,18 - 0,26	<2,0	-	26,34
2304	S82011	-	≤0,03	20,5 - 23,5	1,0 - 2,0	0,1 - 1,0	0,15 - 0,27	2,0 - 3,0	<0,5	27,17
	S32304	1.4362	≤0,03	21,5 - 24,5	3,0 - 5,5	0,05 - 0,6	0,05 - 0,2	<2,5	0,05 - 0,6	25,91
	-	1.4655	≤0,03	22,0 - 24,0	3,5 - 5,5	0,1 - 0,6	0,05 - 0,2	<2,0	1,0 - 3,0	25,91
304	S30400	1.4301	≤0,08	17,0 - 19,5	7,5 - 10,0	-	-	<1,5	-	19,8

Korrózióállóság szempontjából a lean duplexek tervezési szempontból nagy általánosságban egyenértékűnek tekinthetők az ausztenites 18/10 kategória acéljaival (lásd PREN-indexek a 2. táblázatban), bár bizonyos közegekben lényegesen jobb viselkedést mutatnak (pl.: ASTM G61 szerinti 1 M NaCl-oldatban 25°C-on). Ugyanakkor szilárdságuk jelentősen nagyobb, megközelítőleg kétszeres az ausztenites 304-hez képest. Ennek következtében jelentős költségcsökkenést eredményezhet alkalmazásuk a tervezhető és alkalmazható szelvényméret csökkenés következtében [1], [2], [3], [4].

Eme tulajdonságok ismeretében folyamatos térnyerésükre lehet számítani a 304-es típus kiváltása következtében. Ennek következtében fontos, hogy hegesztési kérdéseik tisztázottak legyenek.

2. Kísérleti munka

Jelen dolgozat 3 mm vastag, 1.4162 (LDX2101) típusú lean duplex lemezeken elvégzett hegesztési kísérleteket mutat be. A hegesztési kísérleteket TIG és ATIG eljárásokkal végezve elsősorban a védőgáz (100% Ar és Ar+5% N₂), másodsorban a hőbevitel értékének, illetve a hegesztési sebességnek a hatása került vizsgálatra.

A kísérletek során két hegesztőáram 90 A és 150 A alkalmazása mellett két hegesztési sebesség 13 és 21 cm/perc volt alkalmazva. Emellett a paraméterek alkalmazása során a védőgáz és a gyökvédőgáz is váltogatva volt (3. táblázat).

3. táblázat A hegesztési kísérletek paraméterei

Sorszám	Védőgáz	Formálóga	Eljárás	Áram Fesz.	Heg.seb.	Heg.seb.	Hőbevitel	Alapanyag	
				(A)	(V)	(cm/perc)	(kJ/mm)		
L1	Ar	Ar + 5%N ₂	TIG	90	9,7	13	2,17	0,403	2101
L2	Ar	Ar + 5%N ₂	ATIG	90	11,5	13	2,17	0,478	2101
L3	Ar	Ar + 5%N ₂	TIG	150	11,2	21	3,50	0,480	2101
L4	Ar	Ar + 5%N ₂	ATIG	150	12,7	21	3,50	0,544	2101
L5	Ar + 5%N ₂	Ar	TIG	90	10,5	13	2,17	0,436	2101
L6	Ar + 5%N ₂	Ar	ATIG	90	11,2	13	2,17	0,465	2101
L7	Ar + 5%N ₂	Ar	TIG	150	10	21	3,50	0,429	2101
L8	Ar + 5%N ₂	Ar	ATIG	150	10,7	21	3,50	0,459	2101

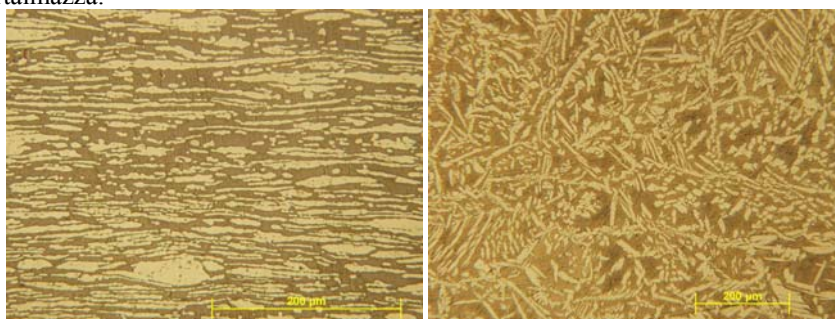
Itt kell megemlíteni, hogy a hőbevitel értéke tudatosan, az általában a lead duplex acélok hegesztésekor javasolt 0,3 – 2,0 kJ/mm hőbeviteli intervallum alsó határának közelébe választottuk, hiszen a hűlési sebesség növekedésével (a hőbevitel csökkenésével) a ferritképződés egyre hajlamosabb túlsúlyba kerülni, amely nem elfogadható sem a korrózióállóság, sem a szívósság szempontjából. Fontos, hogy megismerjük ezen acélok viselkedését és varratának tulajdonságait kis hőbevitellel végzett hegesztés során. Ennek fontossága vékony lemezek hegesztésekor egyértelmű, de vastagabb lemezek feldolgozásakor (pl. tartályépítés, csővezeték-építés, stb.) is van jelentősége, hiszen az összeállítás során alkalmazott illesztő- és fűzővarratok hegesztésekor kialakulhat lokálisan a fentiekben megadott kis hőbevitelű

terület, amely aztán a későbbiekben – a szövetszerkezet különbözősége (esetlegesen magasabb ferrittartalma) miatt – korróziós gócpontként viselkedhet.

A hegesztési mintadarabokból, a csiszolatok elkészítése után Murakami-reagenssel készített színes csiszolatok készültek, amelyek fényképelemző szoftver segítségével kerültek kiértékelésre [5].

3. Eredmények

Az elkészített csiszolatokon (1. ábra) mért ferritértékek eredményeit a 4. táblázat tartalmazza.

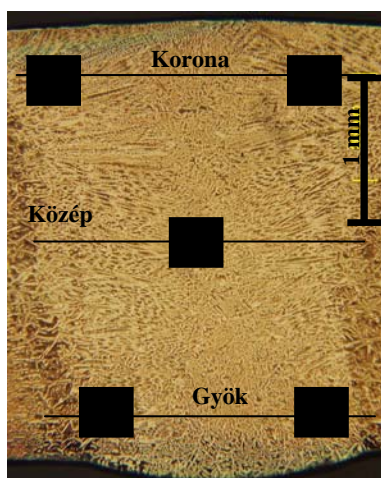


1. ábra Az alapanyag (baloldalon) és az L8 sorszámú varrat középvonalának (jobbra) színes maratással készített mikrociszolata (világos területek: ferrit; sötét területek: ausztenit)

4. táblázat A hegesztési kísérletek egyes varratainak ferrit tartalmai a mérési pontok helyein

L1 [F%]	bal	közép	jobb	L2 [F%]	bal	közép	jobb
korona	86	88,5	86,2	korona	71,9	74,2	73,5
közép		83,7		közép		73,6	
gyök				gyök	73,4	72,1	74,8
L3 [F%]	bal	közép	jobb	L4 [F%]	bal	közép	jobb
korona	81,1	81	81,6	korona	73,2	71,5	72,1
közép		75,3		közép		75,3	
gyök				gyök	71,7	69,6	72,7
L5 [F%]	bal	közép	jobb	L6 [F%]	bal	közép	jobb
korona	66,3	75,4	70	korona	57,1	41	48,6
közép		70,2		közép		40,5	
gyök				gyök	50,3	43,8	57,2
L7 [F%]	bal	közép	jobb	L8 [F%]	bal	közép	jobb
korona	71,7	72,8	73,1	korona	58,2	62	63,5
közép		72,9		közép		61,4	
gyök				gyök	63	59,9	64,4

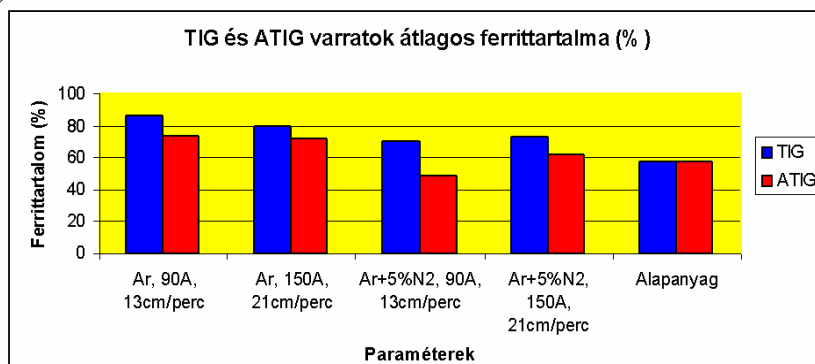
Az egyes mérési pontok helyeit a 2. ábra mutatja be.



2. ábra A mérési pontok helyei

Az L1, L3, L5 és L7 varratok esetén értelemszerűen hiányoznak a gyökoldali eredmények, hiszen ezek TIG eljárással készültek és nem következett be teljes átolvadás, míg az ATIG eljárással minden esetben.

Miután meggyőződünk, hogy a fenti táblázatban a ferrittartalmak megfelelően homogének, átlagolva diagramban is ábrázolhatóvá váltak a ferrittartalmak (3. ábra).



3. ábra TIG és ATIG eljárással készített varratok átlagos ferrittartalmai a hegesztési paraméterek (sorrend: védőgáz, hegesztőáram, hegesztési sebesség) függvényében

A 3. ábrán szereplő adatok alapján a következő megállapítások tehetők.

A hőbevitel kis értéke miatt a várható nagy ferrittartalmak kialakultak a hagyományos TIG eljárással készített varratokban ($\geq 80\%$) argon védőgáz alatt. A nagy ferrittartalmakat a nitrogéntartalmú védőgáz csökkentette, de nem elégséges mértékben, így a TIG eljárás alkalmazásakor kis hőbevitel mellett mindenképpen javasolt nagyobb mennyiségű ausztenitképző ötvözt tartalmazó hegesztőanyag adagolása [7].

Az ATIG eljárással hegesztett varratok ferrittartalmai minden esetben kisebbek voltak, mint a TIG eljárással készült varratoké, de a 70% fölötti ferrittartalmak itt sem elfogadhatóak (Általában a 20-70 FN értéket tekintik megfelelőnek, de az FN érték nem egyenlő a ferrittartalommal 10 FN fölött. Ökölszabályként 1,4 körüli váltószám alkalmazható fenntartásokkal és semmiképpen sem megfeleltetésként.) Az ATIG hegesztés során az Ar+5% N₂ védőgáz alkalmazása már önmagában elegendő volt, hogy a varrat megfelelő mennyiségű ausztenitet tartalmazzon. Az elért ferrittartalom nagyon jól illeszkedik az alapanyag 58%-os ferrittartalmához.

Ennek magyarázata az aktiválópor által indukált, fordított Marangoni-hatás következtében kialakuló nagyobb N₂-bekeveredés, amely oldódva az intenzív mozgást végző ömledékben nagyobb mennyiségű ausztenit képződését segíti elő.

Következtetések

Az elvégzett kísérletek és azok kiértékelése alapján a következő megállapítások tehetők:

- A TIG hegesztés nem alkalmazható hegesztőanyag adagolás nélkül az elvégzett <0,5 kJ/mm hőbevitellel végzett hegesztések tartományában, mert a kialakuló túl nagy ferrittartalom mind a korrózióállósági, mind a szívóssági tulajdonságokat rontja.
- Az ATIG hegesztés argon védőgázzal nem, de nitrogéntartalmú védőgázzal képes megfelelő szövetszerkezet formálására, még az alkalmazott 0,4-0,5 kJ/mm hőbevitel tartományban is.
- Az ATIG hegesztéssel még ekkora hőbevitellel is teljes átolvadású varrat készíthető.

Irodalomjegyzék

- [1] Johansson K: Duplex Stainless Steels: Past, Present and Future. 6th World Duplex Conference and Expo. Venezia, 17-20 October, 2000, AIM, Milano, 2000, 13-28. oldal
- [2] Practical Guidelines for the Fabrication of Stainless Duplex Steels, IMO, London, 2009. 2nd edition
- [3] Outokumpu: Corrosion handbook, 10th edition, 2009
- [4] M. Schwind, F. Falkenberg, E. Johansson, J. Larsson: Properties of Various Low-Nickel Stainless Steels in Comparison to AISI 304. Stainless Steel World, March 2008, 66-77. oldal
- [5] Kardos Ibolya: Színes metallográfia alkalmazása a gyakorlatban. Vaskohászat, 139. évf. 6. szám, 2006, 5-11. oldal
- [6] How to Weld Duplex Stainless Steels. Avesta Welding AB, Koppardalen, 2006 (<http://www.avestawelding.com/3756.epibrw>)
- [7] Dobránszky J: Új trendek a rozsdamentes acélok hegesztőanyagai terén. Hegesztéstechnika, 19 (2008:4) 41-46. oldal